

**NASKAH PUBLIKASI
KARYA ILMIAH**

**PENGARUH KEKASARAN PERMUKAAN
TERHADAP SAMBUNGAN HASIL LAS TITIK PADA
MATERIAL BAJA KARBON RENDAH**



Disusun Untuk Memenuhi Syarat Guna Memperoleh
Gelar Sarjana Strata Satu Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta

Disusun oleh :

Febri Yanto
NIM: D200090022

**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2015**

HALAMAN PERSETUJUAN

Tugas akhir yang berjudul **"PENGARUH KEKASARAN PERMUKAAN TERHADAP SAMBUNGAN HASIL LAS TITIK PADA MATERIAL BAJA KARBON RENDAH"**. Telah disetujui oleh pembimbing dan diterima untuk memenuhi persyaratan derajat sarjana S1 pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Dipersiapkan oleh :

Nama : **Febri Yanto**

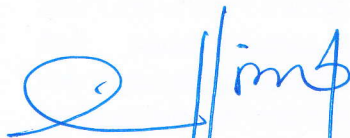
NIM : **D200090022**

Disetujui pada

Hari : *Kamis*

Tanggal : *2/07/2015*

Pembimbing Utama



Muh. Alfatih H., S.T., M.T.

Pembimbing Pendamping



Ir. Agus Hariyanto, M.T.

Mengetahui,
Ketua Jurusan



Tri Widodo Besar ST., M.Sc., Ph.D

PENGARUH KEKASARAN PERMUKAAN TERHADAP SAMBUNGAN HASIL LAS TITIK PADA MATERIAL BAJA KARBON RENDAH

Febri Yanto, Muh. Alfatih Hendrawan, Agus Hariyanto

Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A. Yani Tromol Pos I Pabelan, Kartosuro

e-mail: febriyanto0018@gmail.com

ABSTRAKSI

Las titik (spot welding) merupakan cara pengelasan dimana permukaan plat yang disambung ditekan dengan dialiri arus listrik yang besar melalui elektroda logam yang saling bersinggungan. Dalam penggunaannya parameter pengelasan sangat mempengaruhi hasil dari pengelasan. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh kekasaran permukaan terhadap sifat fisik dan mekanik pada sambungan las titik.

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon rendah dengan ketebalan 0,8 mm. Variasi arus yang digunakan yaitu 3000 A, 4000 A, dan 5000 A dengan waktu pengelasan selama 0,3 dt; 0,4 dt; dan 0,5 dt. Sedangkan variasi kekasaran permukaan yang digunakan yaitu permukaan asli, permukaan di amplas, dan sandblasting. Pengujian komposisi kimia menggunakan alat spektrometer dengan standar ASTM E 415. Sifat mekanik hasil sambungan las dapat dianalisa menggunakan pengujian geser (Tensile Shear Load Bearing Capacity) menggunakan alat Universal Testing Machine (UTM) dengan standar AWS D8.9-97. Sifat fisik pada sambungan las dapat dianalisa dengan foto makro menggunakan mikroskop merk Olympus SZX7 dan foto mikro menggunakan mikroskop merk Olympus dengan standar ASTM E407-07.

Hasil uji komposisi kimia menunjukkan plat baja karbon tergolong dalam kategori baja karbon rendah dengan tipe hypo-eutectoid. Hasil pengujian geser menunjukkan bahwa variasi arus, waktu, dan kekasaran permukaan berpengaruh signifikan. Hasil pengamatan foto makro menunjukkan bahwa lebar logam las semakin besar seiring peningkatan arus, waktu, dan kekasaran permukaan yang berbeda. Sedangkan hasil uji foto mikro logam induk baja karbon rendah memiliki fasa ferit dan perlit. Pada hasil uji foto mikro daerah HAZ tetap yaitu ferit dan perlit namun dalam ukuran lebih halus dibandingkan pada logam induk. Sedangkan fasa logam las yang terbentuk adalah martensit.

Kata kunci: las titik, baja karbon rendah, komposisi kimia, uji geser, metalografi

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Las titik (*spot welding*) merupakan cara pengelasan dimana permukaan plat yang disambung ditekan dengan dialiri arus listrik yang besar melalui elektroda logam yang saling bersinggungan. Las titik merupakan salah satu proses yang tepat untuk diterapkan dalam industri otomotif. Metode ini dipilih karena dalam penyambungan lembaran plat tipis dapat mempersingkat waktu dan meningkatkan proses produksi. Selain itu keunggulan las titik yaitu proses yang cepat, mudah dan biaya yang ringan. Sebagai contoh penerapan las titik dalam industri yaitu pada konstruksi perkapalan, gerbong dan pintu kereta, industri karoseri atau *body* mobil, dan lain sebagainya (Ruukki, 2007).

Untuk memenuhi tuntutan produk yang berkualitas tinggi diharuskan adanya produk yang kokoh namun juga ringan. Maka dibutuhkan bahan material yang memiliki sifat mampu bentuk yang baik, memiliki kekuatan yang tinggi dan biaya produksi yang murah. Material baja karbon adalah bahan material yang sering sekali digunakan dalam perusahaan industri karena memiliki kekuatan yang tinggi dan harga yang lebih murah. Pada penggunaan material yang akan dilas perlu diperhatikan juga kondisi permukaan material, karena dalam proses pengelasan titik kondisi permukaan dapat mempengaruhi nyala elektroda pada daerah kontak permukaan antara benda kerja dan elektroda yang menyebabkan resistansi kontak listrik meningkat (Ioan C.M., dkk. 2010).

Dalam penggunaan parameter dan kondisi permukaan yang berbeda akan mengakibatkan perubahan yang tidak terencana dalam pengelasan titik, sehingga dapat mengakibatkan kerusakan dan perubahan sifat mekanisnya. Berdasarkan uraian diatas perlu dilakukan penelitian untuk mengetahui sejauh mana pengaruh kekasaran permukaan material, arus listrik dan waktu pengelasan terhadap hasil kekuatan las pada material baja karbon rendah.

Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah:

1. Mengetahui komposisi kimia dari bahan yang digunakan berdasarkan standart ASTM E 415.
2. Mengetahui hasil uji mekanis secara grafis dan statistik dari kekuatan geser berdasarkan standar AWS D8-9.
3. Mengetahui pengaruh perubahan arus (3000 A, 4000 A, 5000 A), waktu (0,3 detik, 0,4 detik, 0,5 detik) dan kekasaran permukaan (permukaan asli, permukaan di amplas, sandblasting) terhadap diameter logam las (*nugget*).
4. Mengetahui struktur mikro pada daerah logam induk, HAZ, dan logam las (*nugget*) sesuai standart ASTM E3 dan E7.

Batasan Masalah

Untuk mendapatkan hasil akhir dari analisa yang baik maka perlu dibatasi permasalahan agar pembahasan lebih terfokus. Batasan-batasan yang perlu diperhatikan antara lain :

1. Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja karbon rendah dengan kandungan unsur C = 0,209 %.
2. Pengelasan dilakukan dengan menggunakan mesin las titik dengan jenis AC *Current*, dan kapasitas arus maksimum 9000 Ampere.
3. Pengelasan dilakukan dengan memvariasikan arus (3000 A, 4000 A, 5000 A), waktu (0,3 detik, 0,4 detik, 0,5 detik) dan kekasaran permukaan (permukaan asli, permukaan di amplas, sandblasting).
4. Suhu sekitar daerah pengelasan dianggap sama dengan suhu kamar (30 – 35 °C).
5. Tekanan tuas pijakan pada saat pengelasan dianggap sama (150 kg).

Tinjauan Pustaka

Ioan C.M., dkk. (2013), dalam penelitiannya mempelajari pengaruh kekasaran permukaan pada *resistance spot welding* (RSW). Untuk

penelitiannya menggunakan plat baja karbon rendah (S235JR) dengan ketebalan 1mm. Dengan 3 parameter permukaan yang berbeda : a). plat baja asli, b). plat baja di amplas, c). sandblasting. Potongan-potongan yang akan dilas menggunakan parameter berikut : tekanan elektroda konstan 1.5 kN, waktu las konstan 6 *cycle* dan arus pengelasan adalah 5.6 dan 7 kA. Hasil dari penelitiannya adalah kekuatan geser tertinggi dihasilkan pada kondisi pengelasan permukaan di amplas, sedangkan kondisi pengelasan sandblasting menghasilkan kekuatan geser terendah.

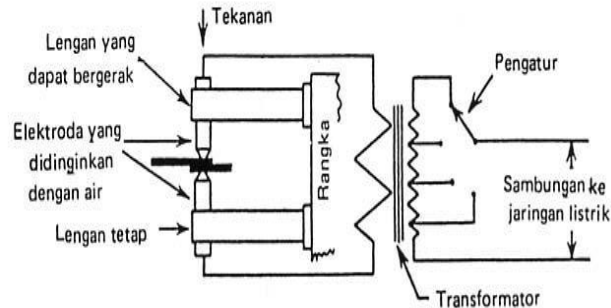
Rashid M. (2010), dalam penelitiannya tentang pengaruh karakteristik permukaan material pada resistansi kontak listrik antarmuka elektroda dengan material paduan aluminium (AA5182) pada *resistance spot welding*. Untuk penelitiannya menggunakan plat paduan aluminium (AA5182) dengan ketebalan 1,5mm. Dengan 3 parameter permukaan yaitu: a). halus, b). permukaan asli, c).kasar. parameter yang digunakan sebagai berikut: tekanan elektroda 6 kN, waktu pengelasan 5 *cycle* dan arus pengelasan 9 kA. Studi tersebut menunjukkan bahwa resistansi kontak listrik statis diukur sebelum *resistance spot welding* agar dapat berfungsi untuk memprediksi perilaku bahan selama proses pengelasan *spot welding*. Hasil dari penelitiannya adalah permukaan asli memiliki kekuatan lebih tinggi dari pada permukaan kasar.

Landasan Teori

Las titik (*Spot Welding*)

Las titik (*Spot Welding*) pada dasarnya merupakan proses penyambungan lembar logam tipis (*sheet metal*). Dimana arus yang cukup besar dialirkan melalui elektroda dan menimbulkan panas pada sambungan yang dibawah pengaruh tekanan, sehingga terbentuklah sambungan las. Pada bagian ini terjadi panas antara elektroda dan plat tetapi tidak sampai mencairkan logam karena ujung elektroda didinginkan dengan air. Selain itu elektroda yang digunakan harus dari paduan

tembaga yang mempunyai tahanan terhadap aliran listrik lebih kecil dari pada material yang akan dilas (Amstead B.H., dkk. 2005).



Gambar 1. Skema alat las titik

(Amstead B.H., dkk. 2005)

Pada pengelasan titik ada tiga faktor yang mempengaruhi besarnya energi panas/kalor untuk mencairkan logam. Ketiga faktor tersebut dapat ditinjau dari rumus yaitu:

$$H = I^2 \cdot R \cdot t$$

Dimana :

H : Total *Heat Input* (joule)

I : Arus listrik (Ampere)

t : Waktu pengelasan (detik)

R : Resistansi listrik dari benda kerja (ohm)

Baja Karbon Rendah

Baja karbon adalah paduan antara besi dan karbon dengan unsur-unsur lain, seperti Si, Mn, P, S dan Cu. Sifat baja karbon tergantung pada kadar karbon, karena itu baja ini dikelompokkan berdasarkan kadar karbonnya. Baja karbon rendah memiliki kadar karbon $< 0,30\%$ C, sedangkan baja karbon sedang memiliki kadar karbon $0,30\% < C < 0,70\%$, dan baja karbon tinggi memiliki kadar karbon $0,70\% < C < 1,40\%$. Karbon merupakan salah satu unsur terpenting karena dapat meningkatkan kekerasan dan kekuatan baja. Semakin tinggi kadar karbon yang dimiliki maka semakin kuat dan keras tetapi semakin getas keuletan dari baja tersebut.

Pengujian Geser

Dalam sambungan las sifat geser sangat dipengaruhi oleh sifat dari logam induk, sifat daerah HAZ, sifat logam las dan sifat-sifat dinamik dari sambungan berhubungan erat dengan geometri dan distribusi tegangan dalam sambungan. Dalam pengujian batang uji tersebut dibebani dengan kenaikan beban sedikit demi sedikit sampai batang uji patah. Kemudian sifat-sifat gesernya dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (Wiryosumarto H., dkk. 2004) :

Tegangan :

$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

Dimana :

σ = Tegangan Geser (kg/mm²)

F = Beban/Gaya maksimum (kg)

A_0 = Luas mula-mula dari penampang batang uji (mm²)

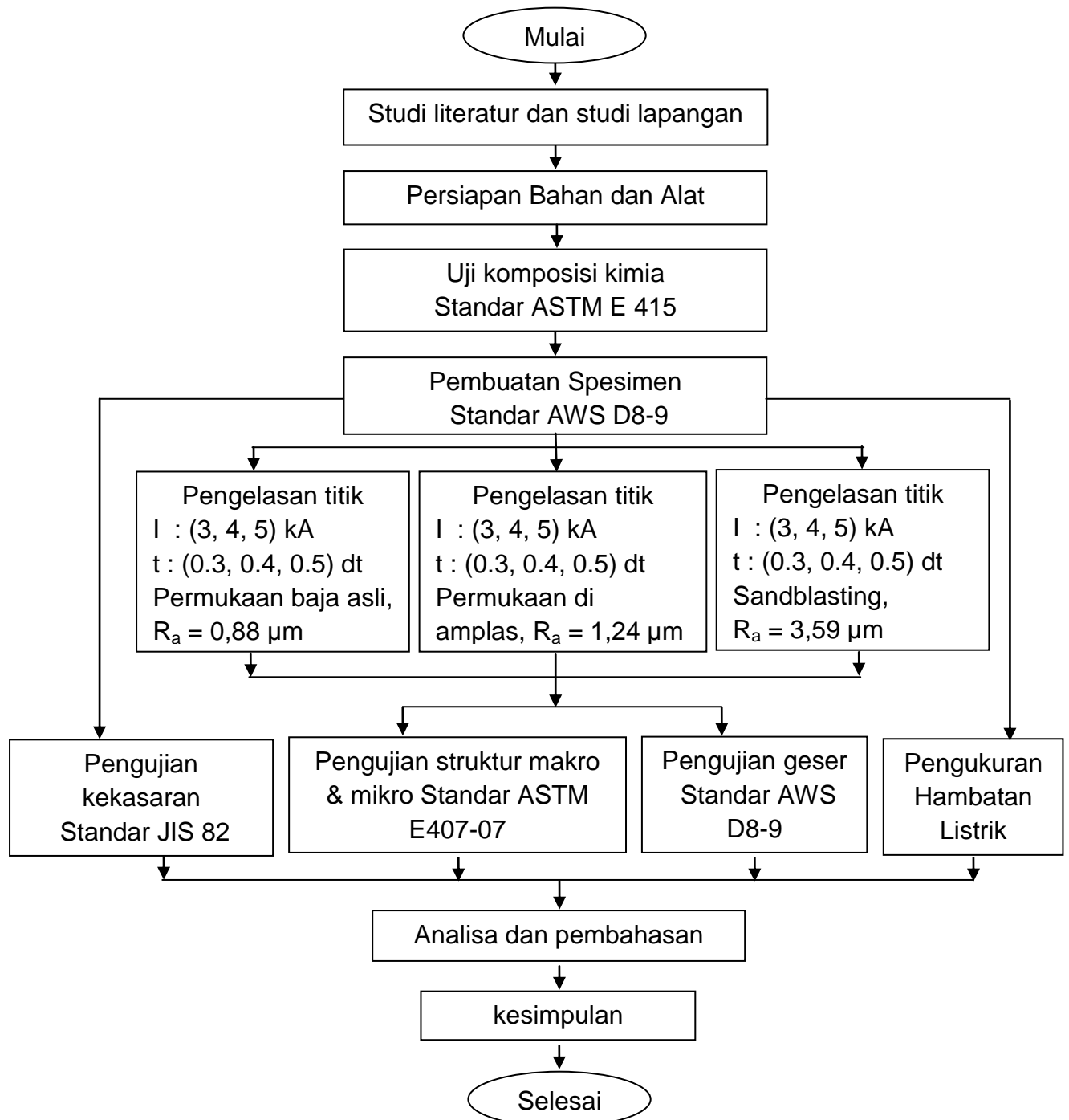
Standar yang digunakan untuk acuan pembuatan material uji geser digunakan juga untuk menentukan ukuran-ukuran yang diperlukan. Standar yang digunakan untuk pembuatan material uji geser adalah *American Welding Society (AWS) D8.9-97*.

Kekasaran Permukaan

Menurut istilah, permukaan adalah suatu batas yang memisahkan benda padat dengan sekitarnya. Sedangkan kekasaran permukaan merupakan salah satu penyimpangan yang disebabkan oleh beberapa faktor, misalnya faktor manusia (operator) dan faktor dari mesin-mesin yang digunakan untuk membuatnya. Ada pula istilah lain yang berkaitan dengan permukaan yaitu profil. Profil mempunyai arti tersendiri yaitu garis hasil pemotongan secara normal atau serong dari suatu penampang permukaan (Munadi S. 1998).

METODOLOGI PENELITIAN

Diagram Alir Penelitian



Gambar 4 Diagram alir penelitian

Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah plat baja karbon rendah dengan panjang 105 mm, lebar 45 mm, dengan ketebalan 0,8 mm. Bahan ini dipotong sesuai standar AWS D8.9-97.

Alat Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi alat pengelasan, alat uji dan alat bantu lainnya.

1. Alat pengelasan

Alat yang digunakan yaitu mesin las titik yang ada pada Lab. Produksi Teknik Mesin UMS dengan jenis *AC Current*, dan kapasitas arus maksimum 9000 A dan waktu maksimum 0,7 detik.

2. Alat pengujian

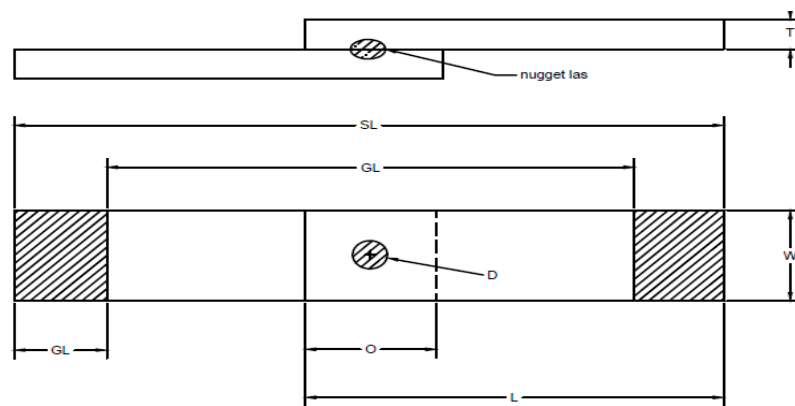
Alat pengujian meliputi alat uji komposisi kimia (*spectrometer*), alat uji kekasaran (*Surface Roughness Measurement*), alat uji geser (*Tensile Strength*), alat uji foto makro dan mikro (mikroskop makro dan mikro).

3. Alat bantu pengujian

Alat potong plat, mesin sandblasting, amplas no. ukuran 100 (untuk membuat variasi kekasaran), *Clamp meter*, gergaji, tang, ragum, kikir, mistar, spidol, jangka sorong, sarung tangan kulit, *stopwatch*, resin, *catalyst*, *metal polish*, *hair dryer*, bahan etsa HNO_3 dan alkohol.

Langkah Penelitian

Penelitian dilakukan dengan metode pengelasan titik tipe *lap joint*. Parameter yang digunakan adalah arus, waktu dan kekasaran permukaan. Pemotongan spesimen uji berdasarkan standar AWS D8.97.



Gambar 5 ukuran pemotongan spesimen

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil uji komposisi kimia

Tabel 1 Hasil uji komposisi kimia

No	Unsur	Prosentase (%)
1	Fe	93.9
2	C	0.209
3	Si	1.40
4	Mn	0.344
5	P	0.0304
6	S	0.0188
7	Cr	0.168
8	Mo	0.215
9	Ni	1.95
10	Al	0.151
11	Co	0.125
12	Cu	0.294
13	Nb	0.225
14	Ti	0.0021
15	V	0.148
16	W	0.642
17	Pb	0.0132
18	Ca	0.0001
19	Zr	0.0729

Hasil uji komposisi kimia menunjukkan bahwa material uji baja karbon memiliki 19 jenis unsur dan kandungan. Unsur yang paling utama yaitu besi (Fe) = 93.9 % dan kandungan unsur karbon (C) = 0.209 %. Material uji tergolong dalam kategori baja karbon rendah yang berarti < 0.30 % menurut Wiryosumarto, H. (2004) dan *ASM Handbook Vol. 6*

(1993). Selain unsur Fe dan C terdapat juga unsur tambahan atau paduan lainnya seperti : silica (Si), mangan (Mn), posfor (P), sulfur (S), krom (Cr), molibidum (Mo), nikel (Ni) dan unsur-unsur lainnya. Menurut diagram fasa Fe-C baja karbon rendah ini tergolong dalam tipe *hypo-eutectoid* dengan kadar karbon kurang dari 0,83%.

Hasil uji kekasaran

Tabel 2 Hasil uji kekasaran rata-rata R_a

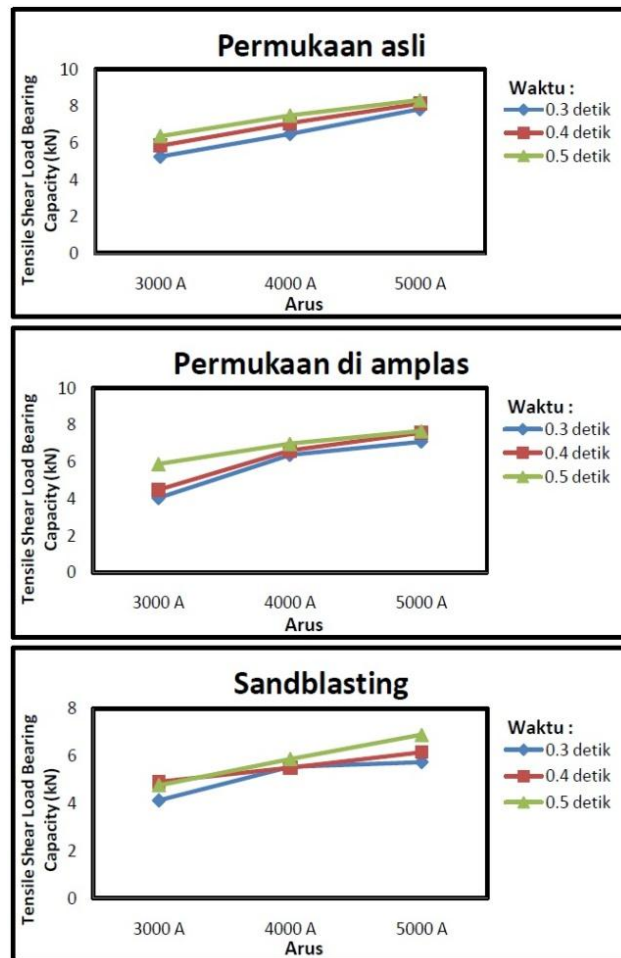
Variabel Kekasaran	R_a Rata-rata μm
Permukaan asli	0,88 μm
Permukaan di amplas	1,24 μm
Sandblasting	3,59 μm

Hasil uji kekasaran permukaan menunjukkan bahwa permukaan asli memiliki harga kekasaran rata-rata R_a sebesar 0,88 μm ; permukaan di amplas sebesar 1,24 μm ; dan sandblasting sebesar 3,59 μm . Menurut Munadi S. (1998), permukaan asli tergolong dalam kelas kekasaran N_6 dengan batas toleransi kekasarannya 0,6-1,2 μm ; sedangkan permukaan di amplas tergolong kelas kekasaran N_7 dengan batas toleransi kekasarannya 1,2-2,4 μm ; dan permukaan sandblasting tergolong dalam kelas kekasaran N_8 dengan batas toleransi kekasarannya 2,4-4,8 μm .

Hasil uji geser

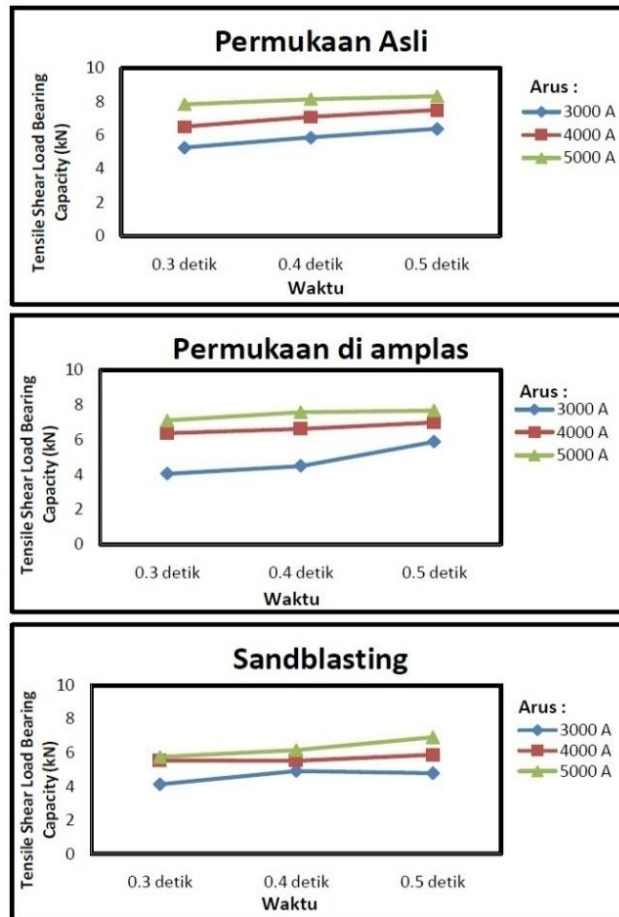
Uji geser dilakukan untuk mengetahui sifat mekanik dari kekuatan sambungan las. Standar yang digunakan pada uji geser yaitu AWS D8.9-97. Dari hasil pengujian geser dapat di analisa secara grafik dan secara statistika.

Analisa secara grafik



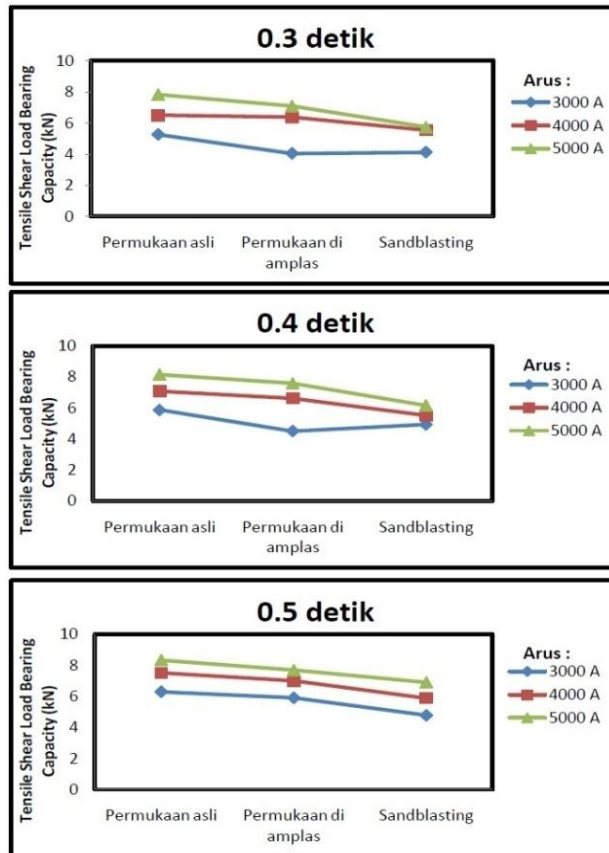
Gambar 6 Pengaruh arus pengelasan terhadap daya beban dukung geser rata-rata

Dari gambar 6, dapat dijelaskan bahwa variasi arus pada permukaan asli, permukaan di amplas, dan sandblasting berpengaruh nyata terhadap daya beban dukung geser rata-rata. Secara keseluruhan grafik diatas menunjukkan *trend* positif. Dimana setiap peningkatan arus yang diberikan pada proses pengelasan akan mengakibatkan kekuatan gesernya meningkat. Hasil daya beban dukung geser rata-rata tertinggi sebesar 8,33 kN diperoleh pada arus 5000 A, waktu 0,5 detik pada permukaan asli.



Gambar 7 Pengaruh waktu pengelasan terhadap daya beban dukung geser rata-rata

Dari gambar 7, dapat dijelaskan bahwa variasi waktu pada permukaan asli, permukaan di amplas, dan sandblasting berpengaruh terhadap kekuatan sambungan las titik. karena waktu berbanding lurus terhadap arus, dimana setiap peningkatan waktu dan arus mengakibatkan kekuatan sambungan las titik meningkat. Namun terdapat penurunan pada grafik sandblasting, dari awal waktu 0,4 detik = 4,92 kN turun menjadi 4,77 kN pada waktu 0,5 detik dengan arus 3000 A. Hal ini disebabkan karena faktor lain yang terjadi pada saat pengelasan.



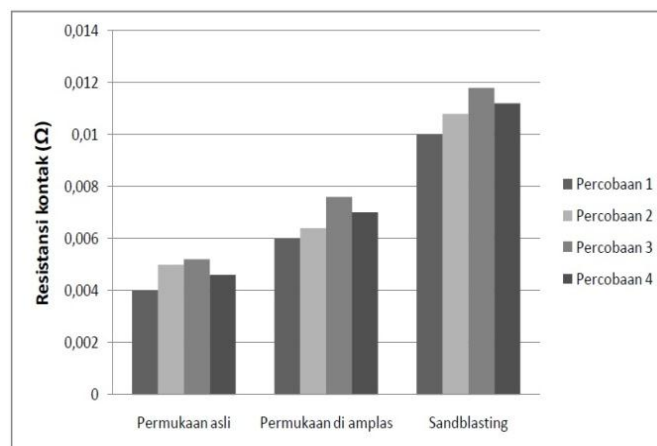
Gambar 8 Pengaruh kekasaran permukaan pengelasan terhadap daya beban dukung geser rata-rata

Dari gambar 8, dapat dijelaskan bahwa variasi kekasaran permukaan pada waktu 0,3; 0,4; dan 0,5 detik berpengaruh nyata terhadap daya beban dukung geser rata-rata. Dimana permukaan asli dapat menghasilkan kekuatan geser lebih tinggi dari pada permukaan di amplas dan sandblasting. Hal ini disebabkan pada kondisi permukaan asli dapat melebur atau meleleh lebih sempurna dari pada kedua variabel kekasaran permukaan sandblasting dan permukaan di amplas. Karena pada kondisi permukaan sandblasting dan permukaan di amplas terdapat adanya kotoran dilapisan dangkal permukaan yang tidak bisa dibersihkan dengan pelarut sehingga pembentukan logam las tidak sempurna (Ioan, 2013).

Pada kondisi tersebut yang menyebabkan faktor-faktor penurunan daya beban dukung geser karena permukaan kasar inilah yang

meningkatkan resistansi kontak antar permukaan plat sehingga masukan panas yang dibutuhkan lebih besar. Hal ini dapat dilihat dengan rumus $H = I^2 \cdot R \cdot t$ dimana arus (I) dan waktu (t) merupakan sumber panas yang akan dialirkan selama pengelasan. Sedangkan jumlah panas yang dilepaskan selama pengelasan tergantung pada resistansi atau hambatannya (R).

Resistansi atau hambatan pada saat pengelasan dapat diketahui menggunakan bantuan alat *Clamp Meter* dengan cara menjepit antara kedua plat yang akan disambung.



Gambar 9 pengukuran resistansi pada 3 jenis spesimen

Pengukuran resistansi menggunakan arus dan waktu konstan yaitu pada arus 5000 A dan waktu 0,3 detik.

Setelah dilakukan pengujian geser diketahui tipe kegagalan sambungan yaitu *pullout* pada permukaan asli dan *interface* pada permukaan di amplas dan sandblasting. *Interface* merupakan jenis kegagalan yang terjadi karena perambatan retak yang melalui daerah las, sedangkan *pullout* merupakan jenis kegagalan yang terjadi apabila *nugget* tertarik keluar dari salah satu plat (Pouronvari, 2009).



Gambar 10 jenis kegagalan pada sambungan las : (a) permukaan asli; (b) permukaan di amplas; (c) sandblasting

Analisa secara statistika

Analisa secara statistika menggunakan metode *Two Ways Analysis Of Variance (Two Ways Anova)* yang terdapat pada program SPSS.

Tabel 4 hasil pengujian statistik dengan menggunakan SPSS

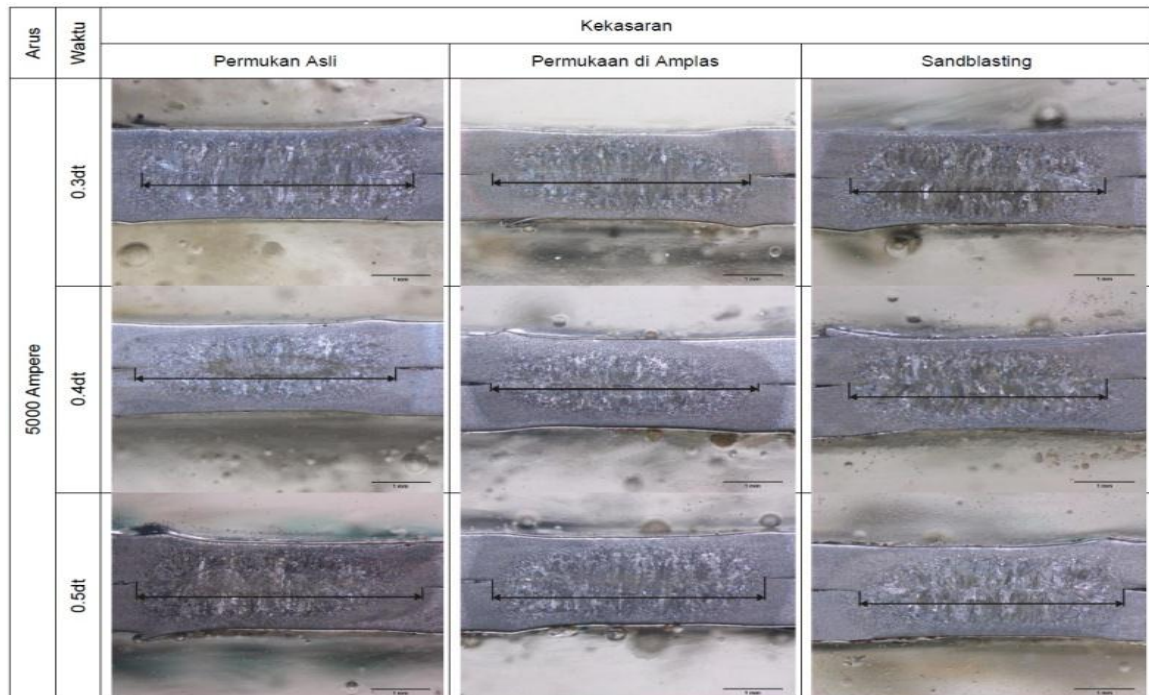
Dependent Variable: kN

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	35.300 ^a	6	5.883	53.615	.000
Intercept	1059.693	1	1059.693	9657.053	.000
KEKASARAN	9.766	2	4.883	44.501	.000
ARUS	22.265	2	11.133	101.451	.000
WAKTU	3.268	2	1.634	14.892	.000
Error	2.195	20	.110		
Total	1097.188	27			
Corrected Total	37.494	26			

a. R Squared = .941 (Adjusted R Squared = .924)

Dari tabel pengujian statistic dapat diketahui bahwa kekasaran permukaan menghasilkan nilai signifikan 0.000, variabel arus dengan nilai signifikan 0.000, begitu juga dengan variabel waktu dengan nilai signifikan 0.000. Karena dari seluruh variabel memiliki nilai signifikan kurang dari 0,05 atau 5%, maka dapat dikatakan bahwa variabel kekasaran permukaan, arus, dan waktu berpengaruh terhadap pengujian daya beban dukung geser.

Hasil uji foto makro



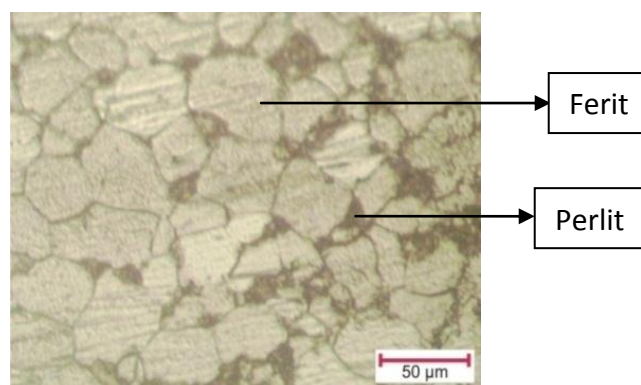
Gambar 11 Foto makro las titik pembesaran 25x

Pengujian foto makro dilakukan dengan menggunakan mikroskop *Olympus SZX7* dengan pembesaran 25X. Hasil pengujian foto makro menunjukkan bahwa arus, waktu dan kekasaran permukaan mempunyai pengaruh dalam menghasilkan bentuk logam las pada pengelasan titik. Berdasarkan gambar 11 keseimbangan panas yang dihasilkan pada daerah logam las dari logam induk yang menerima panas dan tekanan besarnya sama dapat menghasilkan bentuk logam las yang simetris. Bentuk logam las yang simetris dapat diukur dengan menggunakan *Software Sell Sens Standard*. Hasil pengukuran diameter logam las adalah sebagai berikut :

Tabel 5 Hasil pengukuran lebar logam las

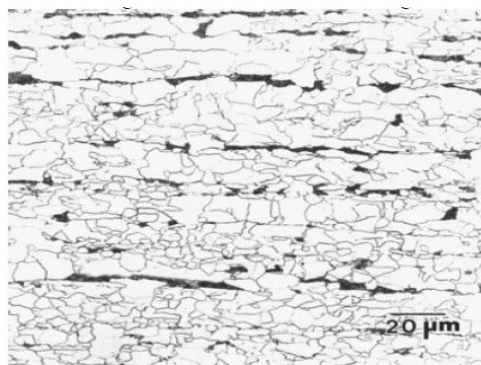
No	Kekasaran	Arus (kA)	Waktu (dt)	Ø Nugget (mm)
1	Permukaan Asli	3 kA	0.3 dt	3.78
2			0.4 dt	4.00
3			0.5 dt	4.06
4		4 kA	0.3 dt	4.24
5			0.4 dt	4.48
6			0.5 dt	4.50
7		5 kA	0.3 dt	4.64
8			0.4 dt	4.46
9			0.5 dt	4.88
10	Permukaan di Amplas	3 kA	0.3 dt	3.65
11			0.4 dt	3.85
12			0.5 dt	3.87
13		4 kA	0.3 dt	3.90
14			0.4 dt	4.10
15			0.5 dt	4.13
16		5 kA	0.3 dt	4.35
17			0.4 dt	4.52
18			0.5 dt	4.60
19	Sandblasting	3 kA	0.3 dt	3.50
20			0.4 dt	3.76
21			0.5 dt	3.98
22		4 kA	0.3 dt	4.04
23			0.4 dt	4.07
24			0.5 dt	4.16
25		5 kA	0.3 dt	4.30
26			0.4 dt	4.35
27			0.5 dt	4.46

Hasil uji foto mikro



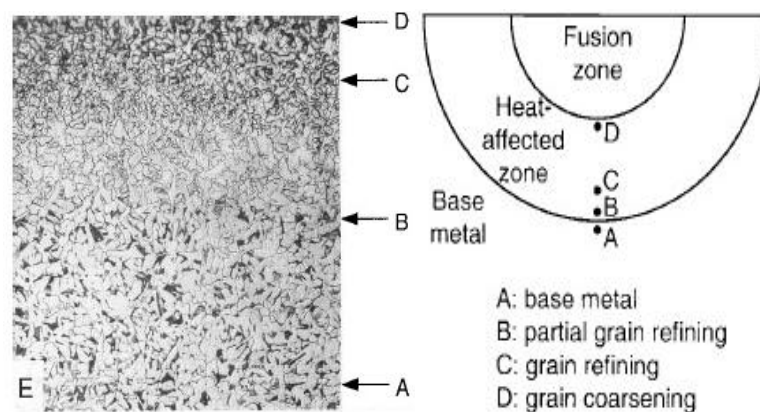
Gambar 12 Struktur mikro logam dasar

Pengujian foto mikro dilakukan dengan menggunakan mikroskop *Olympus* dengan pembesaran 200X. Foto mikro untuk logam dasar baja karbon rendah memiliki fasa ferit dan perlit. Hal ini sesuai dengan diagram fasa Fe-C bahwa pada suhu kamar baja *hypoeutectoid* memiliki struktur mikro dengan butiran kristal ferit dan perlit. Dimana ferit berwarna lebih terang dan perlit berwarna gelap (gambar 12). Ferit mempunyai sifat lunak dan ulet sedangkan perlit mempunyai sifat keras dan getas. Dari hasil uji foto mikro logam dasar yang dimiliki baja karbon rendah sesuai dengan foto yang terdapat pada *ASM Handbook vol 9* (1998).

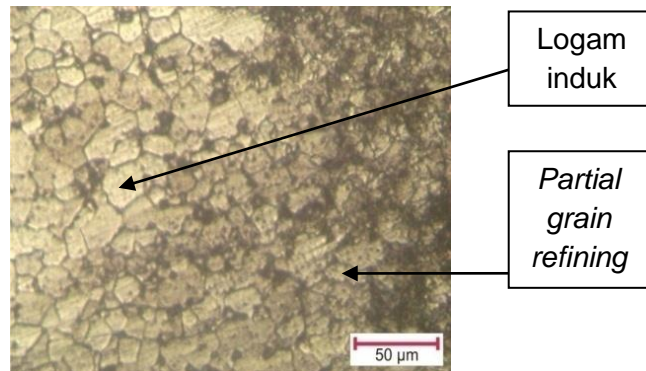


Gambar 13 Struktur mikro baja karbon rendah (*ASM Handbook vol 9*, 1998)

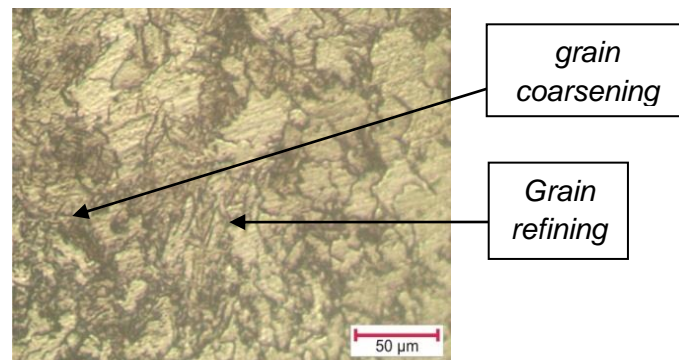
Struktur mikro HAZ dibagi menjadi 3 bagian yaitu : *partial grain refining*, *grain refining* dan *grain coarsening* (Sindo Kou, 2003)



Gambar 14 Variasi pada daerah HAZ (Sindo Kou, 2003)

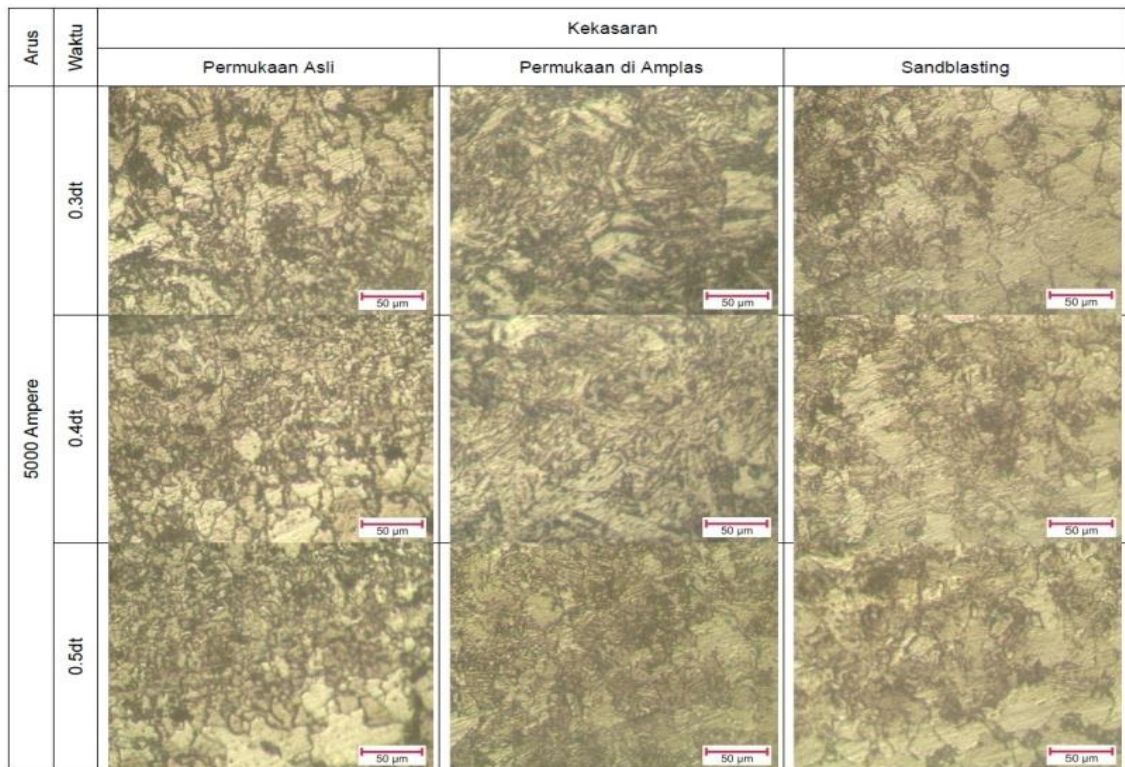


Gambar 15 Struktur logam induk dan *partial grain refining* pada daerah HAZ



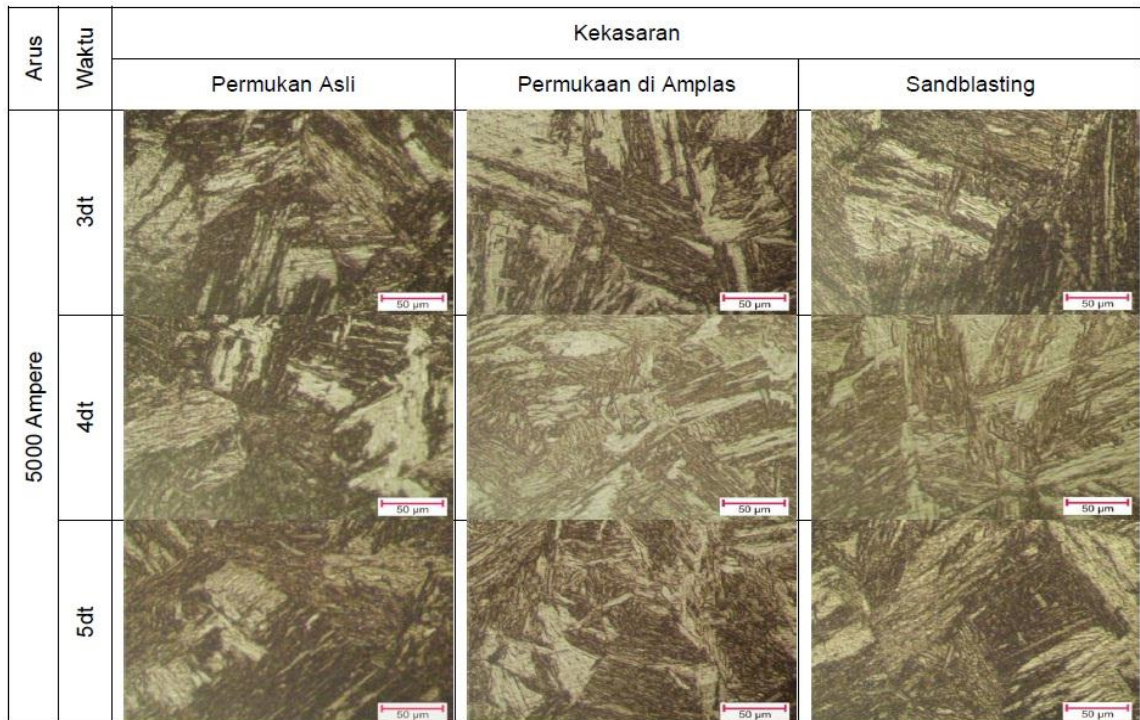
Gambar 16 Struktur *grain refining* dan *grain coarsening* pada daerah HAZ

Struktur *partial grain refining* memiliki bentuk butir yang sama dengan logam induk tetapi ukuran butirnya lebih besar yang disebabkan oleh pengaruh panas tetapi tidak sampai mencair dan pendinginannya lambat. Proses pembentukan HAZ dimulai dari *partial grain refining* dekat dengan logam induk kemudian *grain refining* terakhir *grain coarsening* (Sindo Kou, 2003).



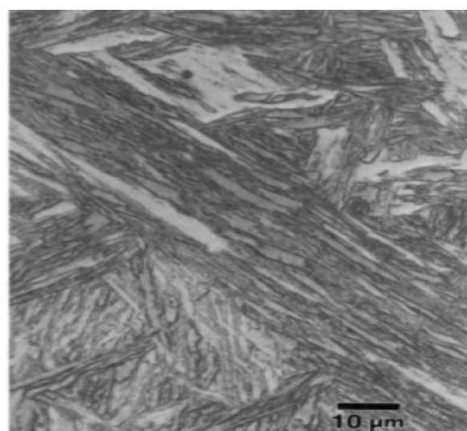
Gambar 17 Struktur mikro Haz

Hasil uji struktur mikro daerah haz menunjukkan bahwa perubahan besar butir menjadi lebih halus tetapi masih dengan fasa yang sama pada logam induk yaitu ferit dan perlit. Perubahan butir ini disebabkan oleh terpengaruh panas tetapi tidak sampai mencair dan mengalami pendinginan lambat. Perubahan butir ini dapat merubah sifat mekanis dari proses pengelasan tersebut. Variabel arus, waktu dan kekasaran permukaan sangat mempengaruhi lebar haz yang terbentuk hal ini disebabkan oleh konduktivitas termal yang tinggi pada material baja karbon rendah.

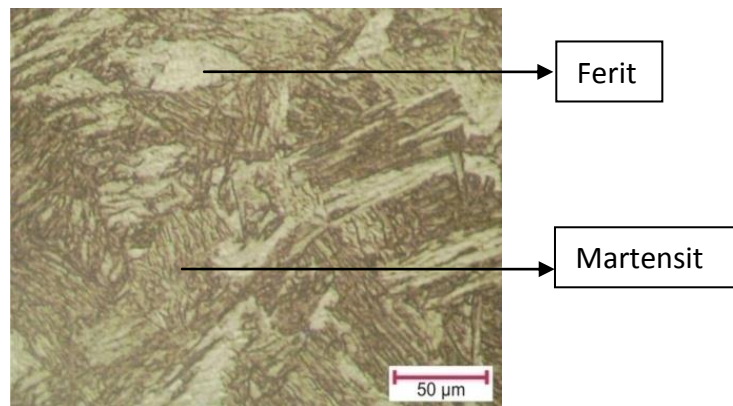


Gambar 18 Struktur mikro Logam las

Struktur mikro terbentuk akibat dari peleburan dua material pada saat pengelasan yang kemudian didinginkan secara alami pada temperatur ruang. Akibat dari pengelasan ini logam las membentuk fasa baru. Gambar 18 menunjukkan hasil logam las (*nugget*) yang terbentuk terlihat berbeda meskipun menghasilkan fasa yang sama yaitu martensit yang bentuknya seperti jarum yang tersusun secara acak, dimana strukturnya mendekati yang terdapat pada ASM Handbook vol 9 (1998).



Gambar 19 Fasa martensit
(ASM Handbook vol 9, 1998)



Gambar 20 hasil struktur mikro logam las

Struktur mikro logam las tergantung dari kecepatan pendinginan dari suhu daerah austenit sampai ke suhu kamar. Selama proses pengelasan elektroda tembaga didinginkan dengan air dan daerah ini mengalami siklus thermal dengan laju pemanasan dan pendinginan cepat pada saat proses pengelasan titik. Tingkat pendinginan cepat tersebut yang menyebabkan terbentuknya struktur martensit pada daerah logam las.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil uji komposisi kimia baja karbon mengandung unsur karbon (C) 0,209 % yang berarti $< 0,30 \%$, maka material ini termasuk baja karbon rendah type *hypoeutectoid*.
2. Analisa secara grafik menunjukkan variasi arus, waktu dan kekasaran permukaan berpengaruh nyata terhadap kekuatan geser sambungan las, hal ini sesuai dengan hasil analisa secara statistik dimana variasi arus, waktu dan kekasaran permukaan berpengaruh signifikan terhadap kekuatan geser sambungan las. Kekuatan geser paling optimal diperoleh pada permukaan asli dengan menggunakan arus 5000 A, dan waktu 0,5 detik sebesar 8,33 kN dengan jenis kerusakan sambungan las yaitu *pullout*.

3. Arus, waktu dan kekasaran permukaan berpengaruh pada pembentukan diameter logam las. Dengan arus, waktu yang diberikan semakin besar dan kekasaran permukaan yang berbeda maka ukuran diameter logam las yang dihasilkan semakin meningkat.
4. Hasil uji foto mikro menunjukkan bahwa fasa yang terdapat pada logam induk baja karbon rendah type *hypoeutectoid* adalah ferit dan perlit. Fasa daerah HAZ baja karbon rendah tetap yaitu ferit dan perlit namun dalam ukuran lebih halus dibandingkan pada logam induk. Sedangkan fasa logam las (*nugget*) baja karbon rendah yang terbentuk adalah martensit.

DAFTAR PUSTAKA

- Amsted B.H., Ostwald, Philip, Djaprie S., 2005. *Teknologi Mekanik*. (Penerjemah Sriati Djaprie Edisi ke-7 jilid 1). Erlangga, Jakarta
- ASM Handbook Vol 6. pdf, 1993, *Welding, Brazing and Soldering*, ASM Handbook Committee, United State
- ASM Handbook Vol 9. pdf, 2004, *Metallography and Microstructures*, ASM Handbook Committee, United State
- AWS D8-9, 1997, *Recommended Practice for Test Methods for Evaluating the Resistance Spot Welding Behavior of Automatic Sheet Steel Material*, American National Standard Institute (17 April, 1997)
- Ghozali, M., M.Com., Akt., 2006, *Aplikasi Analisis Multivariate dengan Program SPSS*, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Ioan, C.M., Marius, U., Eugen, A., Dragos, A. 2013, *Researches About The Influence Of Surface Roughness On Resistance Spot Welding (RSW) Result*, International Journal of Management, It and Engineering (IJMIE) Volume 3, Issue 6, ISSN : 2249-0558.
- Munadi, S. 1988. *Dasar-Dasar Metrologi Industri*. Proyek Pengembangan Lembaga Pendidikan Tenaga Kependidikan, Jakarta.
- Pouranvari, M., Marashi, P., 2009. *Failure Behavior of Resistance Spot Welded Low Carbon Steel In Tensile-Shear And Coach-Peel Tests A Comparative Study*. Journal of Materials Science and Metalurgical Engineers, Vol. 15 (3) 2009 p, 149-157.
- Rhasid, M. 2010. *Some Tribological Influences On The Electrode-Worksheet Interface During Resistance Spot Welding Of Aluminium Alloys*. Journal Of Material Engineering And Performance, (20): 456-462.
- Ruukki, 2007, *Resistance Welding Manual*, Rautaruukki Corporation, Finlandia.
- Wiryosumarto H., Okumura T. 2004. *Teknologi Pengelasan Logam*. Pradnya Paramita, Jakarta.